第47卷 第12期
2024年12月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 12
Dec. 2024

甘肃省土地利用转变对碳储量变化的影响研究

姜筱筱[1,2,3]， 李雪梅[1,2,3]， 韩 惠[1,2,3]， 许 民[4,5,6]， 凌红波[7]

(1. 兰州交通大学测绘与地理信息学院,甘肃 兰州 730070；2. 甘肃省地理国情监测工程实验室,甘肃 兰州 730070；3. 地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心,甘肃 兰州 730070；4. 兰州交通大学数理学院,甘肃 兰州 730070；5. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室,甘肃 兰州 730000；6. 中国科学院大学,北京 100049；7. 中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆干旱区水循环与水利用重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要：陆地生态系统中的碳储量多少与全球气候危机之间存在密切关系。基于InVEST模型和ArcGIS软件并结合甘肃省三期(2000、2010年和2020年)土地利用数据,对甘肃省土地利用类型变化和碳储量多少进行动态评估与分析。结果表明:(1) 2000—2020年未利用地和耕地面积明显减少,建设用地、草地、林地和水域面积呈增加趋势,土地类型的转入转出主要以草地和耕地之间的转换为主。(2) 甘肃省2000—2020年碳储量累计增加331.24×10^4 t,呈现先上升后下降的趋势。(3) 未利用地转为耕地和草地转为林地对区域碳储量增加起促进作用,而制约区域碳储量增加的主要原因是耕地向建设用地的转换以及草地向未利用地的转换。研究结果可为甘肃省未来土地利用规划和生态建设提供参考。

关 键 词：碳储量；土地利用类型；InVEST模型；甘肃省

文章编号：1000－6060(2024)12－2075－08(2075～2082)

在全球气候变化背景下,土地利用覆盖变化对生态系统服务功能具有显著影响[1]。自改革开放以来,随着城市化进程的不断推进,中国CO_2排放量已成为世界第一[2],因此,降低大气中CO_2浓度、调节区域气候、缓解气候变化以及维持生态平衡是当今亟待完成的重要任务。陆地生态系统碳储量在应对全球气候危机中起着举足轻重的作用[3-5],然而,一旦土地利用类型发生转变就会导致碳源和碳汇发生变化,进而影响生态系统的碳循环[6-7]。此外,土地利用类型的变化会直接影响生态系统的能量交换和物质循环,从而改变地域生境的时空分布格局[8-9],是造成全球生境丧失、物种多样性减少的直接原因之一[8]。因此,基于土地利用数据探索分析区域碳储量变化对保护生态环境和维持生物多样性具有重要意义。

近年来众多学者以土地利用数据为基础详细分析了不同土地利用类型对碳储量的影响。目前,Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs(InVEST)模型因为其操作方便、数据简单以及模拟准确而应用广泛。例如,徐澳康等、杜怀玉等、卿苗等[10-12]使用InVEST模型对石羊河流域土地利用引起的碳储量变化进行分析,证明草地、未利用地和耕地对碳储量的贡献最大且在生态保护情形下碳储量将大幅增加;雷馨等[13]应用InVEST模型估算了祁连山地区2000—2020年生态系统的碳储量,结果表明祁连山地区以草地和未利用地之间的转换为主且碳储量有所增加;崔写等[14]基于CMIP6数据和InVEST模型分析预测了气候变化情景下黄土高原碳储量的变化,研究表明只有在SSP126情景下碳储量增加;石晶等[15]基于PLUS-InVEST模型对酒

收稿日期：2024-01-18； **修订日期：**2024-05-26

基金项目：甘肃省教育厅高等学校创新基金项目(2022A-041)；国家自然科学基金项目(42261026,41971094,42161025,42104096)；新疆干旱区水循环与水利用重点实验室开放基金(XJYS0907-2023-01)资助

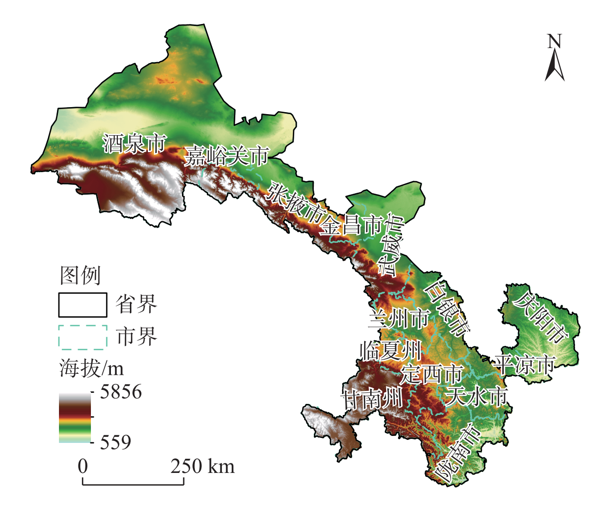
作者简介：姜筱筱(2000-),男,硕士研究生,主要从事遥感科学与技术研究. E-mail: 12232094@stu.lzjtu.edu.cn

通讯作者：李雪梅(1983-),女,博士,教授,主要从事气候变化及其影响研究. E-mail: lixuemei@mail.lzjtu.cn

泉市碳储量进行分析，得出酒泉市碳储量空间分异的主要驱动因子是人口密度、土地利用程度、NDVI和GDP；韩楚翘等[16]利用PLUS-InVEST模型对吐哈盆地碳储量进行模拟分析得出碳储量在可持续发展情景下增加，在经济优先发展情景下碳储量损失最大。但甘肃省在这一领域的研究以小区域为主[1]，此外，随着甘肃省的快速发展和城镇化的不断深入，土地利用类型不断发生显著变化。甘肃省是国家西部生态安全屏障的重要组成部分，区位重要、功能突出，在保障黄河径流稳定、国家生态安全和维护生物多样性等方面具有重要作用[17-19]。因此，本文采用现有研究方法对InVEST模型相关参数进行校正，分析2000—2020年甘肃省土地利用类型变化对碳储量的影响，将有助于揭示城市化进程、生态工程建设等引起的土地利用类型变化对生态系统固碳能力的影响，从而优化区域生态系统服务功能，优化碳库分类管理，为实现“双碳”目标，建设美丽甘肃提供科学依据。

1 研究区概况

甘肃省（图1）位于青藏高原、黄土高原和蒙新高原的交汇地带[20]，海拔高度559~5856 m，地势西南高东北低，地形狭长，东部与陕西毗邻，南接青海，西邻新疆，北靠内蒙古和宁夏。甘肃省年平均降水量在40~750 mm之间，且空间分布不均，年均气温为0~15 ℃，从东南向西北形成湿润、半湿润、半干旱



注：临夏州为临夏回族自治州；甘南州为甘南藏族自治州。基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作，底图边界无修改。下同

图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

和干旱4个类型区[21]。全省总面积为42.59×10^4 km^2，截止2020年，建设用地面积为5564.31 km^2，占比1.31%，未利用地面积170030.48 km^2，占比39.96%。阔叶混交林、冷杉林和云杉林等天然林是甘肃省碳储量的主要来源[1]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文选取甘肃省三期（2000、2010年和2020年）土地覆盖数据来源于资源环境科学与数据中心（https://www.resdc.cn/），空间分辨率为30 m×30 m。碳储量和生境质量估算的相关参数参考现有研究成果并结合甘肃省气候条件修正所得。DEM数据来源于地理空间数据云（https://www.gscloud.cn/home）。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用类型变化分析 土地利用转移矩阵能够直观展示不同时段、不同土地利用类型之间的动态变化信息，揭示其分布特征和时空演变规律，并以此分析土地利用类型转变对区域碳储量的影响[22]。计算公式为：

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中：S为土地面积；i为研究初期的土地利用类型；j为研究末期的土地利用类型；n为地类数量。

2.2.2 InVEST模型碳储量估算 碳储量是由各土地利用类型4个碳库（地下生物碳、死亡有机碳、土壤碳和地上生物碳）的平均碳密度乘以相应的土地面积计算所得[23]。碳储量计算公式为：

$$C = C_{\text{above}} + C_{\text{below}} + C_{\text{soil}} + C_{\text{dead}} \quad (2)$$

$$C_{\text{total}} = \sum_{k=1}^{n} A_k \times C_k,\ \ k = 1, 2, 3, \cdots, n \quad (3)$$

式中：C为各土地利用类型单位面积碳密度之和（t·hm^{-2}）；C_{above}为地上生物量的碳密度（t·hm^{-2}）；C_{below}为地下生物量的碳密度（t·hm^{-2}）；C_{soil}为土壤有机碳密度（t·hm^{-2}）；C_{dead}为死亡有机物碳密度（t·hm^{-2}）；C_{total}为区域生态系统碳储量（t）；n为土地利用类型；A_k为某土地利用类型面积（hm^2）；C_k为某土地利用类型单位面积碳储量之和（t）。

本文中土壤、地下和地上碳密度数据来源于任玺锦等[1]研究成果。死亡碳密度数据运用Alam等[24]、Chen等[25]提出的气象因子修正公式计算所得，甘肃省碳密度修正表如表1所示。

表1　甘肃省碳密度修正表

Tab. 1　Carbon density correction table of Gansu Province　/t·km⁻²

土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤有机碳密度	死亡有机物碳密度
耕地	1.10	15.00	91.10	0.74
林地	8.10	22.00	158.80	4.78
草地	6.70	16.40	83.90	1.83
水域	0.60	0.00	0.00	0.32
建设用地	0.50	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.20	0.00	21.60	0.00

3　结果与分析

3.1　土地利用格局分析

3.1.1　土地利用结构变化　2000—2020年甘肃省各土地利用类型面积如表2所示。2000—2020年甘肃省土地利用类型以未利用地、草地和耕地为主。其中在甘肃省西北部遍布大量未利用地，东南部分布有大量耕地、草地和林地。甘肃省耕地以旱地为主，由西北向东南逐渐增多。2000—2020年耕地面积持续减少，累计减少1710.19 km²，减幅为2.61%。2000—2020年草地面积稳步增长，增长面积为998.27 km²。2000—2010年林地面积持续增加，但2010—2020年有所下降，20 a林地面积累计增加862.74 km²，增加幅度为2.29%。在黄土高原地区，由于水资源稀少，水域面积增长极少，仅为537.83 km²。建设用地持续增加，城镇化持续推进，20 a间建设用地面积增加了1995.42 km²，增加区位于嘉峪关市、金昌市、兰州市和白银市，增幅55.91%。甘肃省西北部以裸岩石质地和戈壁为主，生态环境恶劣，易引发沙尘暴等灾害，不利于植被生长，植被覆盖度较低，但社会快速发展和人类活动频繁等导致未利用地面积持续减少，累计减少2706.20 km²。

3.1.2　土地利用转移类型　甘肃省2000—2020年土地利用类型的具体变化情况如图2所示。由图2可知，2000—2020年6大土地利用类型中，流出面积最大的是耕地和草地，分别为6181.06 km²和5233.10 km²，耕地主要转出为草地和建设用地，转出为林地、水域和建设用地的比例相对较小；图2显示约45.87%的草地被转化为耕地，22.72%被转化为未利用地，21.27%被转化为林地，其余少量转化为水域和建设用地；未利用地的转出仅次于草地和耕地，未利用地流出面积为4269.38 km²，主要转出为耕地和草地，分别占流出的未利用地总面积的35.85%、36.39%；林地的流出面积为960.68 km²，主要转出为草地和耕地；水域和建设用地的流出面积最小，分别为231.34 km²和323.60 km²，水域主要流出为未利用地，建设用地主要流出为耕地。就流入面积而言，以草地和耕地为主，流入面积分别为6244.69 km²和4473.65 km²。建设用地次之，主要接收耕地的转入；林地和未利用地的流入面积相近，主要的转入者均为草地；而水域流入面积最小，仅为770.43 km²。

表2　2000—2020年甘肃省土地利用面积

Tab. 2　Land use area in Gansu Province from 2000 to 2020　/km²

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	65592.35	37654.03	142665.13	3302.68	3568.89	172736.68
2010	65054.49	38549.23	142976.28	3543.75	4311.77	171085.44
2020	63882.16	38516.77	143663.40	3840.51	5564.31	170030.48

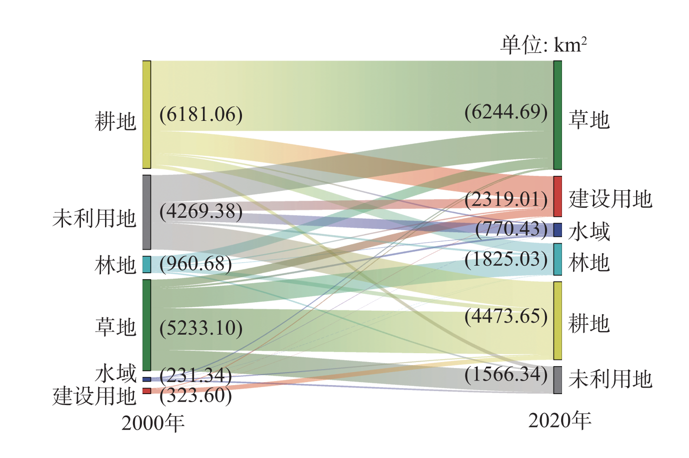


图2　2000—2020年土地利用转移图

Fig. 2　Map of land-use transfers from 2000 to 2020

3.2　碳储量分析

3.2.1　不同时期碳储量变化分析　基于InVEST模型Carbon Storage and Sequestration模块计算2000、2010年和2020年甘肃省碳储量（表3）。2000、2010年和2020年甘肃省陆地生态系统碳储量分别为336892.79×10⁴ t、338029.01×10⁴ t和337224.03×10⁴ t，累计增加331.24×10⁴ t，增长率为0.10%。对4大碳库中的碳储量进行分析可得土壤有机碳储量最多，所占比例最高，占比约为82%；地下碳储量次之，占比约为12%；地上碳储量所占比例大致为4%；死亡有机物碳储量最小，占比约为1.4%。

表3 基于InVEST模型的2000—2020年甘肃省各碳库碳储量统计

Tab. 3 Carbon storage statistics of various carbon reservoirs in Gansu Province from 2000 to 2020 based on InVEST model

/10^4 t

指标	2000年	2010年	2020年
地上碳储量	13713.19	13802.49	13838.94
地下碳储量	41716.60	41882.28	41808.46
土壤有机碳储量	276556.41	277392.38	276621.47
死亡有机物碳储量	4906.59	4951.86	4955.16
总碳储量	336892.79	338029.01	337224.03
总碳储量变化量	-	1136.22	-804.98
总碳储量变化率/%	-	0.34	-0.24

研究碳储量的空间分布及其变化对于揭示不同土地利用类型的碳储量特征和合理利用土地，使其发挥最大的生态价值和经济价值具有重要意义。由图3可以看出碳储量自西北向东南逐渐增加，碳储量高值主要集中于甘南藏族自治州、陇南市、武威市、庆阳市部分地区，该地区有大量草地和林地，生态环境良好；中值主要在甘肃省全境都有分布，但以东南部居多，而低值主要分布于西北地区，是由于西北部存在大量未利用地。这也与甘肃省土地利用类型分布规律一致，林地、草地居多处碳储量大，未利用地、建设用地居多处碳储量少。

3.2.2 土地利用类型转变对碳储量的影响 本文依据土地利用类型转移矩阵，结合各土地利用类型碳密度数据得到土地利用类型转变对甘肃省碳储量的影响，结果如图4所示。由于甘肃省土地利用类型转化2000—2020年碳储量累计增加331.24×10^4 t，其中植被碳储量增加271.61×10^4 t，土壤有机碳储量增加113.63×10^4 t。但是由于耕地、草地和林地的转出，碳储量累计减少2790.28×10^4 t，具体而言由耕地、林地和草地转出而减少的碳储量分别占整个区域碳

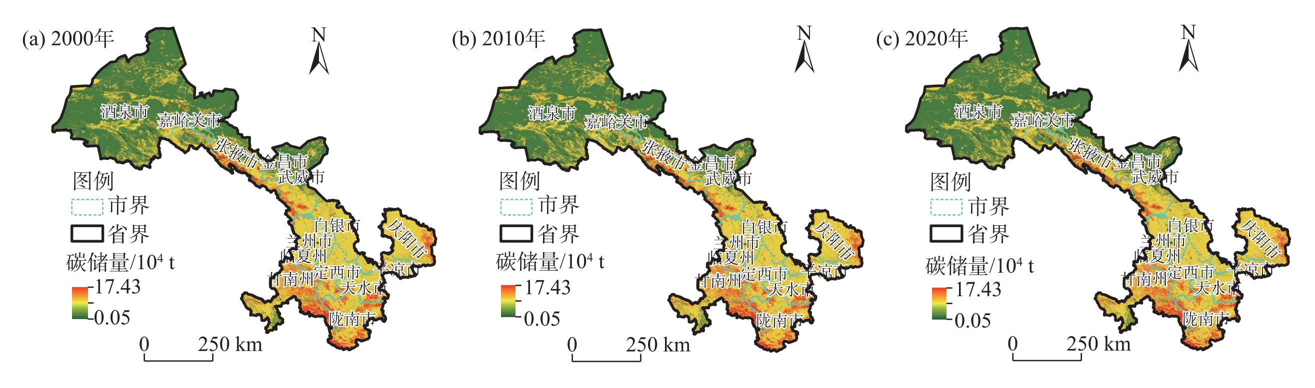


图3 2000—2020年甘肃省总碳储量空间分布

Fig. 3 Distribution of total carbon stocks in Gansu Province from 2000 to 2020

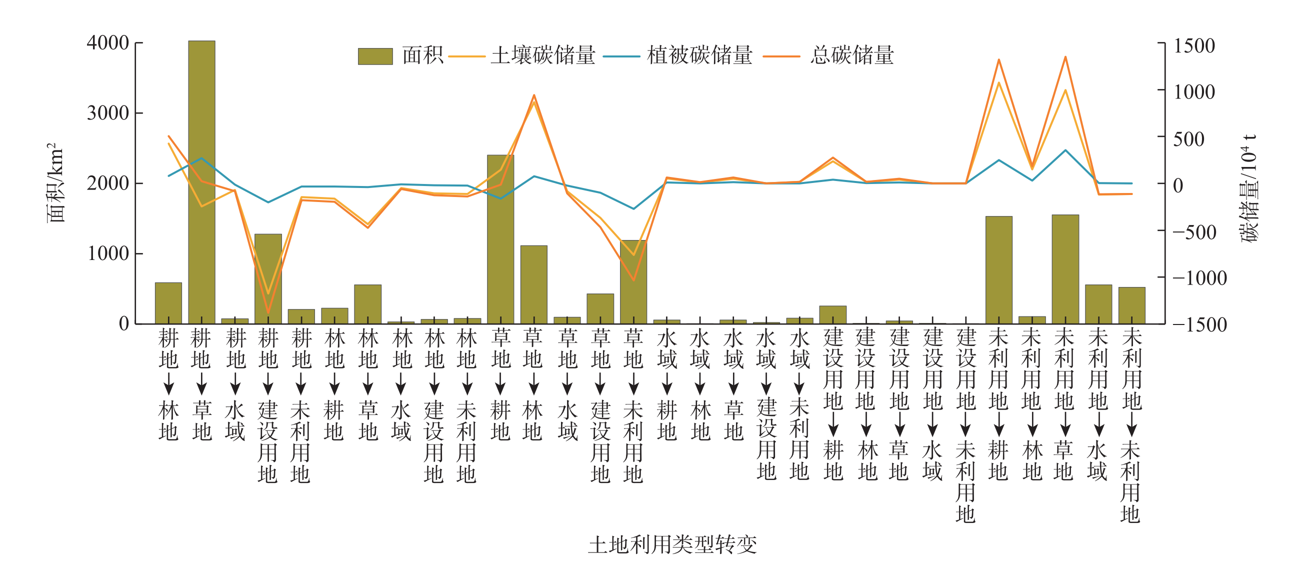


图4 2000—2020年甘肃省各土地利用类型转化下碳储量变化

Fig. 4 Changes in carbon storage under conversion of various land use types in Gansu Province from 2000 to 2020

储量减少总量的40%、36%和24%，其中以耕地转为建设用地和草地转为未利用地对碳储量的损失最为显著。由水域、建设用地和未利用地的转出而增加的碳储量分别占整个区域碳储量增加总量的5%、11%和84%，其中未利用地转出为耕地和草地对碳储量的贡献最大。此外，面积波动小的土地转换类型碳储量波动小，碳储量维持在一个相对稳定的水平，如建设用地转出为草地和水域、水域转出为林地。耕地转为草地的面积最大，但是其植被碳储量增加而土壤碳储量减少，总碳储量有少量增加，其原因可能是前期由于土地经营不善，土地转换后需要相当长的一段时间恢复才能进入储碳期。耕地和草地转为林地、未利用地转为耕地和草地的面积较大且都是从低碳密度地类转为高碳密度地类，碳储量有所增加。而耕地转为建设用地和草地转为未利用地的面积较大且是从高碳密度地类转为低碳密度地类，碳储量减少。

由此可见，其他地类大量转为碳密度最大的林地，将使植被面积大幅增加，其面积大幅增加更有助于碳储量的累积，但是其转出为其他任何地类则会有损碳储量的积累。此外，未利用地的大量转出为耕地、林地和草地以及草地转为林地将有助于碳储量的积累。

4 讨 论

本研究表明甘肃省2000—2020年各土地利用类型发生了较为剧烈的变化，转变类型以耕地、草地和未利用地之间的转换为主，碳储量在一定程度上有所增加，生态环境在一定程度上有所改善，该研究结果与任玺锦等[1]研究结果相一致。其主要原因是随着经济发展、人口增长、城市化快速提升，迫使其他地类转为建设用地，以满足发展需求；以及近年来，甘肃省实施的一系列重大生态项目，包括退耕还林还草、山水林田湖草生态保护修复等[26]，这也从空间上解释了城市周围各地类变化更为剧烈的原因。此外降水与气温的增加有助于植被生长，但是过高的气温会使土壤干裂，抑制植被生长[27]。

碳储量在2个时间段均出现了不同程度的增加，主要得益于林-草-沙治理和人工绿洲扩张方面[28]，使得碳密度较大的林地、草地面积增加，碳储量有所增加，生态环境有所改善，与姚楠等[29]、韩敏等[30]研究结果相一致。本研究结果还表明，建设用地的扩张和耕地的减少会制约碳储量的增加，向书江等[31]、智菲等[32]的研究同样得到了此结论。在评估碳储量变化过程中研究结果与实际情况相符，但是碳密度相关参数没有年际间的变化，所以碳储量变化的主要原因是由土地利用类型变化所引起的。此外由于目前条件和能力的限制，碳密度数据并非实测所得，而且土壤微生物活动、植被光合速率等影响因素并未考虑在内，因此还需要做进一步研究。

5 结 论

（1）甘肃省2000—2020年各土地利用类型的面积变化主要表现为建设用地的大量增加，增加的面积为1995.42 km^2；水体、林地和草地面积增长相对较小，分别增加了537.83 km^2、862.74 km^2和998.27 km^2；耕地和未利用地均呈现减少的趋势，减少的面积为1710.19 km^2和2706.20 km^2。

（2）甘肃省2000、2010年和2020年陆地生态系统的碳储量分别为336892.79×10^4 t、338029.01×10^4 t、337224.03×10^4 t，呈现先增加后减少趋势，2000—2010年累计增加量1136.22×10^4 t，2010—2020年累计减少量为804.98×10^4 t。2000—2020年甘肃省碳储量累计增加了331.24×10^4 t。

（3）未利用地向耕地、草地的转化和草地向林地的转化对区域碳储量的提升起促进作用，而草地向未利用地的转化和耕地向建设用地转化对区域碳储量的提升起抑制作用。

在当今倡导“双碳”背景之下，研究区域陆地生态系统碳储量及碳固持能力是评估生态服务价值的重要指标，对推动我国实现碳达峰和碳中和的战略目标具有重要意义。甘肃省生态脆弱，水土流失严重，故评估该地区土地利用类型与生态系统服务碳储量之间的关系，可为该区域生态系统管理及减排增汇政策制定等提供科学依据，对于协调该地区区域生态保护和建设具有重要意义。

参考文献（References）

[1] 任玺锦, 裴婷婷, 陈英, 等. 基于碳密度修正的甘肃省土地利用变化对碳储量的影响[J]. 生态科学, 2021, 40(4): 66-74. [Ren Xijin, Pei Tingting, Chen Ying, et al. Impact of land use change on carbon storage in Gansu Province based on carbon density cor-

rection[J]. Ecological Science, 2021, 40(4): 66−74.]

[2] Yu X, Liang Z, Fan J, et al. Spatial decomposition of city-level CO_2 emission changes in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 296: 126613, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126613.

[3] 贾天朝, 胡西武. 基于PLUS-InVEST-Geodector模型的三江源国家公园碳储量时空变化及驱动力[J]. 环境科学, 2024, 45(10): 5931−5942. [Jia Tianzhao, Hu Xiwu. Spatial-temporal change and driving force of carbon storage in Three-River-Source National Park based on PLUS-InVEST-Geodector model[J]. Environmental Science, 2024, 45(10): 5931−5942.]

[4] 田梓祎, 高凡, 何兵, 等. 1990—2020年塔里木河流域土地利用变化及其对碳储量的影响[J/OL]. 环境科学, 2024: 1−18[2024−11−10]. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202311201. [Tian Ziyi, Gao Fan, He Bing, et al. Land use change and its impact on carbon stock in the Tarim River Basin from 1990 to 2020[J]. Environmental Science, 2024: 1−18[2024−11−10]. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202311201.]

[5] 吕文宝, 徐占军, 郭琦, 等. 黄土高原陆地生态系统碳储量的时间演进与空间分异特征[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 252−263. [Lü Wenbao, Xu Zhanjun, Guo Qi, et al. Research on the temporal evolution and spatial differentiation characteristics of carbon storage in terrestrial ecosystems on the Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 252−263.]

[6] 张育诚, 韩念龙, 胡珂, 等. 海南岛中部山区土地利用变化对碳储量时空分异的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 115−122. [Zhang Yucheng, Han Nianlong, Hu Ke, et al. The impact of land-use changes on the spatial-temporal variation of carbon storage in the central mountainous area of Hainan Island[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2023, 47(2): 115−122.]

[7] 朱丽亚, 胡克, 孙爽, 等. 基于InVEST模型的辽宁省海岸带碳储量时空变化研究[J]. 现代地质, 2022, 36(1): 96−104. [Zhu Liya, Hu Ke, Sun Shuang, et al. Research on the spatiotemporal variation of carbon storage in the coastal zone of Liaoning Province based on InVEST model[J]. Geoscience, 2022, 36(1): 96−104.]

[8] 李潇, 杨加猛, 陈禹衡, 等. 基于土地利用变化的江苏盐城湿地自然保护区生境质量评估[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(5): 169−176. [Li Xiao, Yang Jiameng, Chen Yuheng, et al. Evaluations of habitat quality assessment of Jiangsu Yancheng Wetland National Nature Rare Bird Reserve based on land use changes[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2022, 46(5): 169−176.]

[9] 修炀景, 侯蒙京, 田骄阳, 等. 基于土地利用/覆盖的甘肃省景观生态风险时空变化特征[J]. 草业学报, 2023, 32(1): 1−15. [Xiu Yangjing, Hou Mengjing, Tian Jiaoyang, et al. Characteristics of temporal and spatial variation in landscape ecological risk in Gansu Province based on land use and cover[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(1): 1−15.]

[10] 许澳康, 胡梦珺, 石晶, 等. 基于PLUS-InVEST模型的石羊河流域生态系统碳储量时空变化及多情景模拟[J]. 中国环境科学, 2023: 1−11[2024−11−10]. https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000−6923.20231211.016. [Xu Aokang, Hu Mengjun, Shi Jing, et al. Spatial and temporal variability of ecosystem carbon storages and multi-scenario simulation based on the PLUS-InVEST model in the Shiyang River Basin[J]. China Environmental Science, 2023: 1−11[2024−11−10]. https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000−6923.20231211.016.]

[11] 杜怀玉, 俞金凤, 张媛, 等. 石羊河流域多情景土地利用优化及碳储量评估[J]. 环境科学, 2024, 45(7): 4164−4176. [Du Huaiyu, Yu Jinfeng, Zhang Yuan, et al. Land use optimization and carbon reserve assessment in Shiyang River Basin[J]. Environmental Science, 2024, 45(7): 4164−4176.]

[12] 卿苗, 赵军, 冯超, 等. 1980—2030年石羊河流域生态系统碳储存服务对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(23): 9525−9536. [Qing Miao, Zhao Jun, Feng Chao, et al. Response of ecosystem carbon storage service to land-use change in Shiyang River Basin from 1980 to 2030[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(23): 9525−9536.]

[13] 雷馨, 海新权. 祁连山地区土地利用变化对碳储量的影响及经济价值估算[J]. 干旱区研究, 2023, 40(11): 1845−1854. [Lei Xin, Hai Xinquan. Impacts of land use change on carbon storage and estimation of economic value in Qilian Mountain region[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(11): 1845−1854.]

[14] 崔写, 董燕, 张露尹, 等. 基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量[J]. 环境科学, 2024, 45(5): 2817−2827. [Cui Xie, Dong Yan, Zhang Luyin, et al. Land change simulation and grassland carbon storage in the Loess Plateau based on SSP-RCP scenarios[J]. Environmental Science, 2024, 45(5): 2817−2827.]

[15] 石晶, 石培基, 王梓洋, 等. 基于PLUS-InVEST模型的酒泉市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 环境科学, 2024, 45(1): 300−313. [Shi Jing, Shi Peiji, Wang Ziyang, et al. Spatial-temporal evolution and prediction of carbon storage in Jiuquan City ecosystem based on PLUS-InVEST model[J]. Environmental Science, 2024, 45(1): 300−313.]

[16] 韩楚翘, 郑江华, 王哲, 等. 基于PLUS-InVEST模型吐哈盆地陆地生态系统碳储量时空变化及多情景模拟[J]. 干旱区地理, 2024, 47(2): 260−269. [Han Chuqiao, Zheng Jianghua, Wang Zhe, et al. Spatiotemporal variation and multiscenario simulation of carbon storage in terrestrial ecosystems in the Turpan-Hami Basin based on PLUS-InVEST model[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(2): 260−269.]

[17] 甘肃省水利厅. 甘肃: 担负好黄河上游生态保护重任[N]. 黄河报, 2020−11−21(001). [Gansu Water Resources Department. Gansu: Taking up the responsibility of ecological protection of the upper reaches of the Yellow River[N]. Yellow River News, 2020−11−21(001).]

[18] 吴翠霞, 冯永忠, 赵浩, 等. 基于土地利用变化的甘肃省黄河流

域生态系统服务价值研究[J]. 中国沙漠, 2022, 42(6): 304-316. [Wu Cuixia, Feng Yongzhong, Zhao Hao, et al. Study on the ecosystem service value of the Yellow River Basin in Gansu Province based on land use change[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(6): 304-316.]

[19] 赵晓冏, 张兴林. 全面推进国家生态文明示范创建的对策建议——以甘肃为例[J]. 环境保护, 2022, 50(15): 58-61. [Zhao Xiaojong, Zhang Xinglin. Countermeasures and suggestions for comprehensively promoting the construction of national ecological civilization demonstration: Take Gansu Province as an example[J]. Environmental Protection, 2022, 50(15): 58-61.]

[20] 张军, 陶华旸, 李文杰, 等. 甘肃省草地生态系统时空变化特征[J]. 草业科学, 2022, 39(6): 1106-1114. [Zhang Jun, Tao Huayang, Li Wenjie, et al. Spatial change of grassland ecosystem in Gansu Province[J]. Pratacultural Science, 2022, 39(6): 1106-1114.]

[21] 张一达, 刘学录, 范亚红, 等. 甘肃省土地利用多功能性空间差异及影响因素分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(3): 544-552. [Zhang Yida, Liu Xuelu, Fan Yahong, et al. The analysis of spatial difference and influencing on land use multi-functionality in Gansu Province[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition), 2019, 34(3): 544-552.]

[22] 陈其, 魏媛. 贵州省土地利用变化对生态系统碳储量的影响[J]. 自然资源情报, 2023(2): 28-34. [Chen Qi, Wei Yuan. Impact of land use change on ecosystem carbon stocks in Guizhou[J]. Natural Resources Information, 2023(2): 28-34.]

[23] 邓喆, 丁文广, 蒲晓婷, 等. 基于InVEST模型的祁连山国家公园碳储量时空分布研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 324-334, 396. [Deng Zhe, Ding Wenguang, Pu Xiaoting, et al. Spatial-temporal distribution of carbon stocks in Qilian Mountains National Park based on InVEST model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 324-334, 396.]

[24] Alam S A, Starr M, Clark B J. Tree biomass and soil organic carbon densities across the Sudanese woodland savannah: A regional carbon sequestration study[J]. Journal of Arid Environments, 2013, 89: 67-76.

[25] Chen G S, Yang Y S, Xie J S, et al. Total belowground carbon allocation in China's forests[J]. Acta Ecologica Sinuca, 2007, 27: 5148-5157.

[26] 王芳, 杨成生, 陈徵尼, 等. 甘肃省退耕还林工程生态效益监测研究报告[J]. 甘肃林业科技, 2021, 46(1): 6-14. [Wang Fang, Yang Chengsheng, Chen Zhengni, et al. The study report on ecological benefit monitoring of land retirement project in Gansu Province[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2021, 46(1): 6-14.]

[27] Sun W, Song X, Mu X, et al. Spatiotemporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 209-210: 87-99.

[28] 冯永忠, 尹振良, 王凌阁, 等. 1980—2020年气候和土地利用变化对甘肃省陆地生态系统碳储量的影响[J]. 中国沙漠, 2023, 43(4): 168-179. [Feng Yongzhong, Yin Zhenliang, Wang Lingge, et al. The impacts of climate change and land use change on terrestrial ecosystem carbon storage of Gansu Province from 1980 to 2020[J]. Journal of Desert Research, 2023, 43(4): 168-179.]

[29] 姚楠, 刘广全, 姚顺波, 等. 基于InVEST模型的黄土丘陵沟壑区退耕还林还草工程对生态系统碳储量的影响评估[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 329-336. [Yao Nan, Liu Guangquan, Yao Shunbo, et al. Evaluation of the effcet of conversion from farmland to forest and grassland project on ecosystem carbon stock in loess hills-gully region based on InVEST model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 329-336.]

[30] 韩敏, 徐长春, 隆云霞, 等. 西北干旱区不同土地利用情景下的碳储量及碳源/汇变化模拟与预估[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 335-344. [Han Min, Xu Changchun, Long Yunxia, et al. Simulation and prediction of changes in carbon storage and carbon source/sink under different land use scenarios in arid region of northwest China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 335-344.]

[31] 向书江, 张骞, 王丹, 等. 近20年重庆市主城区碳储量对土地利用/覆被变化的响应及脆弱性分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1198-1213. [Xiang Shujiang, Zhang Qian, Wang Dan, et al. Response and vulnerability analysis of carbon storage to LUCC in the main urban area of Chongqing during 2000—2020[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(5): 1198-1213.]

[32] 智菲, 周振宏, 赵铭, 等. 基于PLUS和InVEST模型的合肥市生态系统碳储量时空演变特征[J]. 水土保持学报, 2024, 38(2): 205-215. [Zhi Fei, Zhou Zhenhong, Zhao Ming, et al. Temporal and spatial evolution characteristics of carbon storage in Hefei ecosystem based on PLUS and InVEST models[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2): 205-215.]

Influence of land use transformation on carbon storage change in Gansu Province

JIANG Xiaoxiao[1,2,3], LI Xuemei[1,2,3], HAN Hui[1,2,3], XU Min[4,5,6], LING Hongbo[7]

(1. Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Gansu Engineering Laboratory of Geographical Conditions Monitoring, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3. National and Local Joint Engineering Research Center of Geographical Monitoring Technology Application, Lanzhou 730070, Gansu, China; 4. School of Mathematics and Physics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 5. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 6. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 7. Xinjiang Key Laboratory of Water Cycle and Utilization in Arid Zone, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: There is a close relationship between the carbon stock in terrestrial ecosystems and the global climate crisis. Using the InVEST model and ArcGIS software, combined with land use data for Gansu Province, China across three phases (2000, 2010, and 2020), the dynamic changes in land use types and carbon stock were assessed and analyzed. The results indicate that: (1) The areas of unused land and arable land decreased significantly between 2000 and 2020, while construction land, grassland, forest land, and water bodies exhibited an increasing trend. Land type transitions within the province were primarily dominated by conversions between grassland and arable land. (2) The cumulative increase in carbon stock in Gansu Province from 2000 to 2020 amounted to 331.24×10^4 t, following a trend of initial increase followed by a decline. (3) The conversion of unused land to arable land and grassland to forest land contributed to the enhancement of regional carbon stock, whereas the conversion of arable land to construction land and grassland to unused land posed significant constraints on the increase in regional carbon stock. This study provides a valuable reference for future land use planning and ecological restoration efforts in Gansu Province.

Key words: carbon stock; land use type; InVEST modeling; Gansu Province